

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2007年7月12日 (12.07.2007)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2007/077877 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/52 (2006.01) H01L 21/58 (2006.01)
B23K 1/008 (2006.01) H05K 3/34 (2006.01)
B23K 31/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2006/326074
- (22) 国際出願日: 2006年12月27日 (27.12.2006)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2005-380186
2005年12月28日 (28.12.2005) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社豊田自動織機 (KABUSHIKI KAISHA TOYOTA)

JIDOSHOKKI [JP/JP]; 〒4488671 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 Aichi (JP).

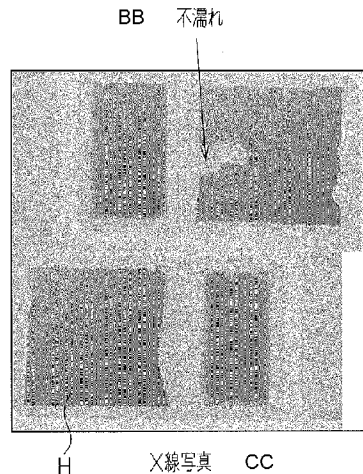
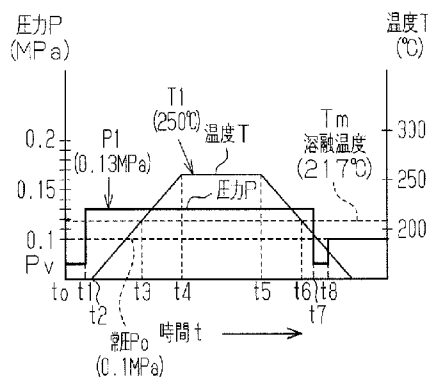
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 金原 雅彦 (KIMBARA, Masahiko) [JP/JP]; 〒4488671 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社豊田自動織機内 Aichi (JP). 熊野 明子 (KUMANO, Akiko) [JP/JP]; 〒4488671 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社豊田自動織機内 Aichi (JP). 久保 秀人 (KUBO, Hidehito) [JP/JP]; 〒4488671 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社豊田自動織機内 Aichi (JP). 藤 敬司 (TOH, Keiji) [JP/JP]; 〒4488671 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社豊田自動織機内 Aichi (JP). 白木 雅雄 (SHIRAKI, Masao) [JP/JP]; 〒4488671 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社豊田自動織機内 Aichi (JP). 東元 繁和 (HIGASHIMOTO, Shigekazu) [JP/JP];

[続葉有]

(54) Title: SOLDERING METHOD, SOLDERING APPARATUS AND METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 半田付け方法、半田付け装置、及び半導体装置の製造方法

<第1実験例> AA



AA... EXPERIMENT NO.1
P... PRESSURE
T... TEMPERATURE
Tm... MELTING TEMPERATURE

Po... NORMAL PRESSURE
t... TIME
BB... UNWETTED PORTION
CC... X-RAY PICTURE

(57) Abstract: An object (92) to be soldered is stored in a container (17) which can be hermetically closed. The inner pressure (P) of the container (17) is increased to the normal pressure (Po) or more by supplying the container (17) with a reducing gas. A semiconductor element (12) is soldered to a circuit board (11) in the pressurized status. The pressurized status at a set pressure (P1) (for instance, 0.13Mpa) is maintained over a solder melting period (t3-t7) from a melting start (t3) of a solder (33) to solidification (t7) of the molten solder (33). Therefore, voids are prevented from being generated in the solder after solidification.

(57) 要約: 密閉可能な容器 (17) に、半田付け対象物 (92) を收容する。容器 (17) に還元性ガスを供給することによって、容器 (17) の内圧 (P) を常圧 (Po) 以上まで上昇させる。

[続葉有]



WO 2007/077877 A1



〒4488671 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社 豊田自動織機内 Aichi (JP).

- (74) 代理人: 恩田 博宣 (ONDA, Hironori); 〒5008731 岐阜県岐阜市大宮町2丁目12番地の1 Gifu (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

当該加圧状態において、回路基板(11)に対する半導体素子(12)の半田付けを行う。半田(33)の溶融開始(t3)から当該溶融半田(33)が凝固するまで(t7)の半田溶融域(t3~t7)に亘って、設定圧力P1(例えば0.13MPa)を示す加圧状態を維持する。従って、凝固後の半田におけるボイドの発生が抑制される。

明 細 書

半田付け方法、半田付け装置、及び半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、回路基板に半導体素子を半田付けする半田付け方法、半田付け装置、及び半導体装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 従来の半導体モジュールは、セラミックス基板と、該セラミックス基板の表面に接合された金属板である配線層と、前記セラミックス基板の裏面に接合された金属板である接合層とを含む。半導体素子は、配線層に半田付け(接合)される。接合層には、半導体素子の発する熱を放熱する放熱装置すなわちヒートシンクが接合される。

[0003] 半田付けの際、半田を溶融させてから凝固するまでの過程において、半田にボイドが発生するケースが多い。半田に多くのボイドが発生した場合、半田を通過する電気や熱の抵抗が高くなる。更に、1つのボイドの大きさがある程度以上になると、電気や熱は、半導体素子から当該ボイドを迂回して配線層および回路基板に流れる。このため、半導体素子のボイド周縁部に、局所的な高温領域であるホットスポットが生じる虞がある。その結果、半導体素子の破壊に繋がる虞がある。

[0004] そこで、特許文献1および特許文献2は、ボイドの発生を抑制する技術を提案する。これら文献は、半田の加熱時に容器を真空引きすることによって減圧し、真空度の高い状態において半田を溶融させることによって、半田付けを行うことを提案する。

[0005] しかしながら、図7Aおよび図7Bに示すように、本発明者は、真空度の高い状態で半田を溶融させることによって半田付けを行った場合でも、ボイドが発生してしまうことを実験によって確認した。したがって、上記文献の半田付け方法は、ボイドの発生を抑制し得るとは言い難い。

特許文献1:特開2005-230830号公報

特許文献2:特開2005-271059号公報

発明の開示

[0006] 本発明の目的は、ボイドの発生を抑制することができる半田付け方法、及び半田付

け装置を提供することにある。

本発明の一観点によれば、回路基板に半導体素子を半田付けする半田付け方法が提供される。該半田付け方法は、容器に半田付け対象物を収容することを含む。該半田付け対象物は、前記回路基板と、前記半導体素子と、前記回路基板と前記半導体素子との間に配置された半田とを含む。前記半田は溶融温度を有する。半田付け方法は、少なくとも還元性ガスを含む雰囲気ガスによって前記容器を満たした還元状態を実現することを含む。前記半田付け方法は、前記還元状態の前記容器において、前記半田の温度を前記溶融温度以上に上昇させるように前記半田を加熱することによって、前記半田を溶融させることを含む。前記半田付け方法は、溶融半田の温度を前記溶融温度未満に下げることによって前記半田を凝固させることによって、前記回路基板に前記半導体素子を半田付けすることを含む。前記半田付け方法は、前記容器を密閉可能に構成することと、上昇中の前記半田の温度が前記溶融温度に達するまでに前記雰囲気ガスによって前記容器の内圧を常圧以上の溶融開始時圧力まで上昇させることとを含む。前記溶融開始時圧力は、前記半田が溶融開始する際の前記容器の内圧である。前記半田付け方法は、半田溶融域において、前記容器の内圧を前記溶融開始時圧力以上に設定した加圧状態を実現することを含む。半田溶融域は、前記半田が溶融開始してから、当該溶融半田が凝固するまでの期間である。前記半田付け方法は、前記加圧状態において前記半導体素子を前記回路基板に半田付けすることを含む。

[0007] 更に、本発明の別の一観点によれば、回路基板と、該回路基板に半田付けされた半導体素子とを含む半導体装置の製造方法が提供される。

更に、本発明の別の一観点によれば、回路基板に半導体素子を半田付けするための半田付け装置が提供される。該半田付け装置は、密閉可能な容器を含む。加熱装置は、前記回路基板と前記半導体素子との間に配置される半田を加熱することによって該半田を溶融させる。前記回路基板、前記半導体素子、及び前記半田は半田付け対象物を構成する。前記半田は溶融温度を有する。ガス導入部は、前記容器に、少なくとも還元性ガスを含む雰囲気ガスを導入する。該ガス導入部は、前記半田付け対象物を収容した状態の前記容器に前記雰囲気ガスを導入する。前記加熱装置

は、前記雰囲気ガスが導入された状態の前記半田の温度を前記溶融温度以上に上昇させることによって、前記半田を溶融させる。前記ガス導入部は、上昇する前記半田の温度が前記溶融温度に達するまでに、前記雰囲気ガスによって前記容器の内圧を前記常圧以上の溶融開始時圧力まで上昇させる。前記半田付け装置は、前記半田の溶融開始から当該溶融半田が凝固するまでの半田溶融域において、前記容器の内圧を前記溶融開始時圧力以上の圧力にした加圧状態を実現するように構成されている。前記半田付け装置は、前記加圧状態において前記半導体素子を前記回路基板に半田付けするように構成されている。

図面の簡単な説明

- [0008] [図1]本発明の製造方法により製造された半導体モジュールの平面図。
[図2]図1の2-2線断面図。
[図3]本発明を具体化した半田付け装置の縦断面図。
[図4]図4(a)は、図3に示される治具の平面図、図4(b)は、図3に示される錘の斜視図。
[図5]図3に示される半導体モジュールに対する、高周波加熱コイルの配置を示す平面図。
[図6A]図3の半田付け装置による第1実験例における、圧力の変遷を示すグラフと、製造された半導体モジュールのX線写真。
[図6B]図3の半田付け装置による第2実験例における、圧力の変遷を示すグラフと、製造された半導体モジュールのX線写真。
[図7A]第1比較例における圧力の変遷を示すグラフと、製造された半導体モジュールのX線写真。
[図7B]第2比較例における圧力の変遷を示すグラフと、製造された半導体モジュールのX線写真。
[図8]本発明の別例における、圧力の変遷を示すグラフ。

発明を実施するための最良の形態

- [0009] 以下、本発明を具体化した一実施形態を、図1～図7Bにしたがって説明する。
図1及び図2に示すように、半導体装置としての半導体モジュール10は、回路基板

11と、該回路基板11に接合される半導体素子12と、放熱装置としてのヒートシンク13とを含む。回路基板11は、セラミックス基板14と、セラミックス基板14の表面、すなわち図2にて上面に接合される配線層15と、セラミックス基板14の裏面、すなわち図2にて下面に接合される接合層16とを含む。セラミックス基板14は、例えば窒化アルミニウム、アルミナ、窒化ケイ素により形成されている。配線層15は、例えばアルミニウム(純アルミニウム及びアルミニウム合金)や銅により形成されている。半導体素子12は、配線層15に半田付けされる。半田層Hは、半導体素子12と配線層15との間に位置する。半導体素子12および配線層15は、半田が接合される接合部材である。

[0010] 半導体素子12は、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)やダイオードからなる。回路基板11には、複数、本実施形態において4つの半導体素子12が接合されている。接合層16は、セラミックス基板14にヒートシンク13を接合する。接合層16は、例えばアルミニウムや銅により形成されている。ヒートシンク13は、接合層16に接合されている。

[0011] 図3に示すように、半田付け装置HKは、回路基板11に半導体素子12を半田付けする。図5は、図1の半導体モジュール10の6枚に相当する、大型の半導体モジュール100を示す。つまり、半導体装置としての半導体モジュール100は、6枚の回路基板11と、24個の半導体素子12を含む。半田付け装置HKは、半導体モジュール100を製造する。

[0012] 図3に示すように、半田付け装置HKは、密閉可能な容器(chamber)17を備える。容器17は、開口18aを有する箱本体18と、開口18aの開放と閉鎖とを切り替え可能な蓋19とを含む。箱本体18には、半導体モジュール100を位置決め且つ支持するための支持台20が収容されている。箱本体18において、蓋19の装着部位には、パッキン21が配置されている。

[0013] 蓋19は、箱本体18の開口18aを閉鎖可能な大きさを有する。箱本体18および蓋19は、容器17内の密閉空間Sを区画する。蓋19は、密閉空間Sに対向するガラス板22を含む。ガラス板22は、非磁性かつ電氣的絶縁材として機能する。

[0014] 図3に示すように、箱本体18には、容器17に還元性ガスを供給するガス導入部として機能する還元性ガス供給部23が接続されている。本実施形態において、還元性

ガスは水素ガス(H_2)である。還元性ガス供給部23は、配管23aと、当該配管23aの開閉バルブ23bと、第1圧力調整部としての減圧弁23cと、水素タンク23dとを備えている。減圧弁23cは、水素タンク23dから開閉バルブ23bを通過して導入された水素ガスを、圧力を一定値にした上で容器17に供給する。

[0015] 箱本体18には、容器17に不活性ガスを供給するための不活性ガス供給部24が接続されている。本実施形態において、不活性ガスは窒素ガス(N_2)である。不活性ガス供給部24は、配管24aと、当該配管24aの開閉バルブ24bと、窒素タンク24cとを備えている。更に、箱本体18には、容器17内を真空引きするための真空部25が接続されている。真空部25は、配管25aと、当該配管25aの開閉バルブ25bと、真空ポンプ25cとを備えている。

[0016] 更に、箱本体18には、容器17内に充満したガスを外部に排出するためのガス排出部26が接続されている。ガス排出部26は、配管26aと、当該配管26aの開閉バルブ26bと、第2圧力調整部としての絞り弁26cとを備えている。容器17内のガスは、絞り弁26cにて排出量が調整された上で、外部に排出される。半田付け装置HKは、還元性ガス供給部23、不活性ガス供給部24、真空部25及びガス排出部26を備えることにより、密閉空間Sの圧力を調整可能に構成されている。つまり、半田付け装置HKは、密閉空間Sを、圧力調整によって加圧したり、減圧したりする。

[0017] 箱本体18の内部には、容器17内において温度Tを計測する温度センサ27が配置されている。温度センサ27は、例えば熱電対である。本実施形態において温度センサ27は、半導体素子12の配線層15への接合部位、すなわち半田付けが行われる部位の温度Tを計測し得るように配置されている。

[0018] 半田付け装置HKの上部、すなわち蓋19の上部には、加熱装置として機能する複数の高周波加熱コイル28が設置されている。図5に示す6枚の回路基板11に各別に対応するように、6つの高周波加熱コイル28が、回路基板11の上方に配置されている。高周波加熱コイル28の各々は、1枚の回路基板11を覆う大きさを有する。更に、高周波加熱コイル28の各々は、錘35の上面の輪郭よりも大きく形成されている。

[0019] 図5に示すように、高周波加熱コイル28の各々は、渦巻き状、具体的には角形の渦巻き状に形成されている。高周波加熱コイル28の各々は、平面的に展開されている

。高周波加熱コイル28の各々は、蓋19のガラス板22に対向するように配置されている。半田付け装置HKは、高周波加熱コイル28の各々が電氣的に接続される高周波発生装置29を有する。高周波加熱コイル28の各々は、温度センサ27の計測結果に基づき、所定の温度に制御される。高周波加熱コイル28の各々には、コイル内部に冷却水を通すための冷却路30が形成されている。半田付け装置HKは、冷却路30が接続される冷却水タンク31を有する。

[0020] 図4(a)は、半田付けに用いられる治具32を示す。図4(b)は、押圧体として機能する前記錘35を示す。治具32は、回路基板11のセラミックス基板14と同一の大きさを有する平板状である。治具32は、例えばグラファイトやセラミックス製である。図3に示すように、治具32は、半田付け時に、回路基板11上に半田シート33、半導体素子12、及び錘35を位置決めする。治具32は、位置決め用の貫通孔34を複数個有する。回路基板11上に4つの半導体素子12が接合されるので、治具32は4つの貫通孔34を有する。貫通孔34の各々は、回路基板11上の、半導体素子12の接合部位に対応する。貫通孔34の各々は、半導体素子12に応じた大きさを有する。温度センサ27が計測した温度Tは、容器17内の温度と、半田シート33の温度とを示す。

[0021] 錘35を通る磁束が変化すると、錘35に電流が発生し、その結果、錘35自身の電気抵抗によって錘35が発熱するように、錘35の材料は選択されている。本実施形態において、錘35はステンレス製である。図3に示すように、錘35は、半田付け時に、半導体素子12の直上に配置される。つまり、錘35は、半導体素子12の上面、すなわち非接合面12aに接する。その結果、錘35は、半導体素子12を回路基板11に向かって押圧する。錘35の各々は、材料の削り出しによって作製された一体化部品である。錘35の押圧面35aは、治具32の貫通孔34に嵌挿可能である。1つの錘35の押圧面35aは、4つの半導体素子12の非接合面12aに接触および押圧可能である。治具32は、隣接する貫通孔34同士を仕切る仕切り32aを有する。押圧面35aは、仕切り32aを跨ぐ溝35bを有している。錘35の押圧面35aは、半導体素子12の非接合面12aに接する面として機能する。図4(a)は、二点鎖線で示す1つの錘35が、4つの貫通孔34に入り込む様子を示す。

[0022] 次に、半田付け装置HKが、半導体素子12を回路基板11に半田付けする方法を

説明する。図3に示すように、予め、回路基板11と、該回路基板11に接合されたヒートシンク13とを含む接合物93を準備する。

[0023] 半田付けを行う際には、最初に、箱本体18から蓋19を外し、開口18aを開放する。図3に示すように、箱本体18の支持台20上に、接合物93を位置決めしながら配置する。次に、各回路基板11上に治具32を置く。治具32の各貫通孔34内に、半田シート33および半導体素子12を、この順に配置する。半導体素子12上に、錘35を置く。すなわち、配線層15上には、半田シート33、半導体素子12、及び錘35が、この順に積層される。半田シート33、半導体素子12、及び錘35は、半田付け装置HKの上下方向に積層される。すなわち、半田シート33、半導体素子12、及び錘35は、蓋19に向かって積層される。接合物93は、地面に対して水平に配置される。錘35の押圧面35aは、半導体素子12の非接合面12aに接触し、非接合面12aを押圧する。

[0024] このようにして、容器17内に、半田付け対象物92が配置される。半田付け対象物92は、接合物93と、半田シート33と、半導体素子12とを含む。

次に、蓋19を箱本体18に取り付けることによって、開口18aを閉塞し、容器17内に密閉空間Sを区画する。図3に示すように、密閉空間Sに半田付け対象物92を収容した状態において、各高周波加熱コイル28は、各錘35の上方に配置される。各高周波加熱コイル28と各錘35との間には、ガラス板22が配置される。高周波加熱コイル28を錘35の上方に配置した状態において、高周波加熱コイル28は、錘35の上面の輪郭から、はみ出る。高周波加熱コイル28は渦巻き状であるため、中央寄りに磁束が多く発生する。よって、錘35と、回路基板11の接合部位とを、高周波加熱コイル28の中央に対応するように配置するのが好ましい。回路基板11の接合部位は、半導体素子12が接合される部位を意味する。

[0025] 次に、容器17内のガスを置換する。まず、真空部25を操作して、容器17内を真空引きする。不活性ガス供給部24を操作して、容器17内に窒素ガスを供給する。即ち、密閉空間Sを不活性ガスで充満させる。このような真空引きと窒素ガスの供給を数回繰り返した後、還元性ガス供給部23を操作して、容器17内に水素ガスを供給する。つまり、容器17内を還元性ガス雰囲気とする。

[0026] 次に、高周波発生装置29を作動させることによって、各高周波加熱コイル28に高

周波電流を流す。すると、錘35を通る高周波の磁束が発生する。錘35には渦電流が発生する。つまり、高周波加熱コイル28が発する磁束に曝される錘35は、電磁誘導作用によって発熱する。錘35の熱は、押圧面35aから半導体素子12に伝わる。その結果、錘35の熱は、回路基板11の半田シート33との各接合部位に、集中的すなわち局所的に伝わる。この結果、半田シート33の温度Tが溶融温度 T_m 以上になり、半田シート33は溶融する。半導体素子12は、錘35によって回路基板11に向かって押圧されている。よって、半導体素子12は、溶融した半田の表面張力によって浮き上がったり、動かされたりすることが防止される。

[0027] 半田シート33が完全に溶融したならば、高周波発生装置29を停止させる。溶融した半田が凝固する迄の間、半田を冷却する。溶融した半田は、溶融温度 T_m 未満に冷却されることによって凝固し、半導体素子12を配線層15に接合する。配線層15に半導体素子12が接合したならば、半導体モジュール100が完成する。その後、蓋19を箱本体18から取り出し、治具32および錘35を外し、容器17内から半導体モジュール100を取り出す。半導体モジュール100を容器17から取り出す際、ガス排出部26は、容器17内のガスを大気に開放する。

[0028] 容器17の内圧Pは、温度センサ27の計測温度や時間の経過に基づいて、加圧及び減圧される。容器17の内圧Pは、還元性ガス供給部23、不活性ガス供給部24、真空部25及びガス排出部26が容器17内にガスを供給したり、又は容器17内からガスを排出したりすることによって、上昇または低下される。還元性ガス供給部23の減圧弁23cと、ガス排出部26の絞り弁26cとは、半田の加熱時と冷却時とにおいて、容器17の内部に還元性ガスを流通させる。

[0029] 以下、図6Aに示す第1実験例と、図6Bに示す第2実験例とにおいて、半田の加熱時及び冷却時に、容器17内の雰囲気調整する態様を説明する。

第1実験例及び第2実験例で用いた半導体モジュール10の各寸法は、以下のとおりである。

[0030] セラミックス基板14は、窒化アルミニウムからなる。セラミックス基板14は、厚み0.635mmを有する30mm×30mmの四角形板である。配線層15および接合層16の各々は、純アルミニウム、例えば工業用純アルミニウムである1000系アルミニウムか

らなる。配線層15および接合層16の各々は、厚み0.4mmを有する27mm×27mmの四角形板である。半導体素子12の厚みは、0.35mmである。半田シート33は、Sn(錫)－Cu(銅)－Ni(ニッケル)－P(リン)系の鉛フリー半田からなる。半田シート33の厚みは、0.1mm～0.2mmである。

[0031] まず、図6Aのグラフに示すように、第1実験例における容器17の内圧Pの変遷すなわち調整を説明する。

容器17が真空引きされることによって、初期時刻 t_0 における容器17の内圧Pは、真空度の高い状態を示す。第1時刻 t_1 において、容器17内部の雰囲気は、常圧 P_0 よりも高い設定圧力 P_1 を有する還元性ガス雰囲気に置換される。本明細書において、常圧 P_0 つまり大気圧は、おおよそ0.1023MPaである。設定圧力 P_1 は0.13MPaである。設定圧力 P_1 は、半田シート33が溶融開始する時の容器17の内圧、すなわち溶融開始時圧力を示す。

[0032] 第1時刻 t_1 の後の第2時刻 t_2 に、半田シート33の加熱が開始される。すなわち、容器17内部の雰囲気は、半田シート33の加熱が開始される第2時刻 t_2 の前に、設定圧力 P_1 を有する還元性ガス雰囲気に置換される。

[0033] 半田シート33の温度Tは、第3時刻 t_3 において溶融温度 T_m に達する。すなわち、容器17の内圧Pは、半田シート33の温度Tが溶融温度 T_m に達する第3時刻 t_3 の前に、第1時刻 t_1 において常圧 P_0 以上に上昇させられる。本明細書において、半田シート33の溶融温度 T_m は217°Cである。

[0034] 半田シート33は、半田シート33の温度Tが第4時刻 t_4 において設定温度 T_1 に達するまで加熱される。設定温度 T_1 は溶融温度 T_m よりも高い。設定温度 T_1 は250°Cである。すなわち、半田シート33は、第1時刻 t_1 における容器17内部のガス置換後、第2時刻 t_2 ～第4時刻 t_4 に亘って加熱される。第4時刻 t_4 ～第5時刻 t_5 に亘って、半田シート33の温度Tは、設定温度 T_1 に維持される。

[0035] 第1時刻 t_1 ～第7時刻 t_7 に亘って、容器17の内圧Pは、設定圧力 P_1 を維持するように調整される。すなわち、第1実験例における容器17の内圧Pは、半田シート33が加熱される第2時刻 t_2 ～第5時刻 t_5 に亘って、常圧 P_0 以下(真空)に低下させられることなく、設定圧力 P_1 に維持される。第5時刻 t_5 に、半田シート33の加熱が終了させ

られる。第1実験例において、第5時刻 t_5 ～第7時刻 t_7 に亘る半田冷却時も、容器17の内圧 P は、設定圧力 P_1 に維持される。第6時刻 t_6 において、半田の温度 T が熔融温度 T_m よりも低下する。半田が凝固したならば、第7時刻 t_7 において、容器17の内圧 P は、常圧 P_0 以下に一旦低下されることによって、還元性ガスを放出する。その後、第8時刻 t_8 において、容器17に大気を導入することによって、容器17の内圧 P を常圧 P_0 に回復させる。

[0036] 図6Aのグラフの右横のX線写真は、第1実験例で半田付けされた半導体素子12の裏面すなわち接合面を示す。X線写真において最も色が濃くなっている部分は、半田層 H を示す。図6AのX線写真によれば、一部の半田層 H に半田の不濡れが確認されるが、ボイドについては全く確認できなかった。

[0037] 次に、図6Bのグラフに示すように、第2実験例における容器17の内圧 P の変遷すなわち調整を説明する。

図6Bに示すように、第2実験例の初期時刻 t_0 ～第5時刻 t_5 に亘って、容器17の内圧 P は、図6Aの第1実験例と同じように調整される。すなわち、第2実験例でも、半田加熱時の容器17の内圧 P は、常圧 P_0 よりも高い設定圧力 P_1 (0.13MPa)に維持される。図6Bに示すように、第5時刻 t_5 に半田の加熱が終了させられると、容器17の内圧 P は、設定圧力 P_1 から第2設定圧力 P_2 まで上昇させられる。第2設定圧力 P_2 は0.2MPaである。第2設定圧力 P_2 は、半田冷却中の第5時刻 t_5 ～第7時刻に亘って維持される。つまり、半田の温度 T が熔融温度 T_m よりも下がる第6時刻 t_6 において、容器17の内圧 P は第2設定圧力 P_2 である。第7時刻 t_7 において半田が凝固完了したならば、容器17の内圧 P が、常圧 P_0 以下(真空)に一旦減圧させられる。つまり、容器17の還元性ガスは外部に放出される。第8時刻 t_8 において容器17に大気を導入することによって、容器17の内圧 P を常圧 P_0 に回復させる第2実験例における第7時刻 t_7 以降の内圧 P は、第1実験例と同じである。

[0038] 図6Bのグラフの右横のX線写真は、第2実験例において半田付けされた半導体素子12の裏面すなわち接合面を示す。図6BのX線写真によれば、すべての半田層 H において、不濡れ及びボイドを全く確認できなかった。

[0039] 図7Aは、参考までに、半田の加熱時及び冷却時に、容器17の内圧 P を常圧 P_0 以

下にした第1比較例を示す。図7Bは、半田の冷却時に、容器17の内圧Pを常圧 P_0 以下にした第2比較例を示す。

- [0040] 図7Aに示すように、第1比較例における容器17の雰囲気は、第2時刻 t_2 からの半田加熱前に、還元性ガス雰囲気に置換される。つまり、容器17の内圧Pは、第1時刻 t_1 において設定圧力 P_1 (0.13MPa)に設定される。
- [0041] しかし、図7Aに示すように、第2時刻 t_2 と第3時刻 t_3 の間にある第23時刻 t_{23} において、容器17の内圧Pは、常圧 P_0 以下に低下させられている。すなわち、容器17の内圧Pは、第23時刻 t_{23} ～第8時刻 t_8 に亘って、真空状態に維持されている。
- [0042] 言い換えれば、第1比較例における内圧Pは、半田加熱時において半田の温度Tが溶融温度 T_m に達する第3時刻 t_3 の前に、常圧 P_0 以下に低下させられている。第1比較例の容器17の内圧Pは、半田加熱時である第2時刻 t_2 ～第4時刻 t_4 と、半田冷却時である第5時刻 t_5 ～第8時刻 t_8 の両方において、常圧 P_0 以下である。図7Aのグラフには、第7時刻 t_7 が存在しない。言い換えれば、図7Aのグラフには、容器17の内圧Pを、半田が凝固完了する第6時刻 t_6 の後まで設定圧力 P_1 に維持するための第7時刻 t_7 が存在しない。
- [0043] 図7Aのグラフの右横のX線写真は、第1比較例において半田付けされた半導体素子12の裏面すなわち接合面を示す。このX線写真によれば、すべての半田層Hにボイドが発生してしまっていることが分かる。しかも、それらボイドは、広範囲に亘って発生してしまっている。つまりボイドは、真空度の高い状態においても発生してしまうことが確認された。第1比較例は、ボイドの内部に、ガスが殆ど存在しないことを強く示唆している。
- [0044] 図7Bに示す第2比較例において、容器17の内圧Pは、初期時刻 t_0 ～第5時刻 t_5 においては、図6Aの第1実験例と同じである。つまり、半田加熱前の第1時刻 t_1 において容器17の雰囲気は還元性ガス雰囲気に置換される。半田加熱時の第2時刻 t_2 ～第5時刻 t_5 に亘って、容器17の内圧Pは、設定圧力 P_1 (0.13MPa)に維持される。
- [0045] しかし、図7Bに示すように、第5時刻 t_5 において、容器17の内圧Pは、常圧 P_0 以下に低下されている。すなわち、半田冷却時である第5時刻 t_5 ～第8時刻 t_8 に亘

て、容器17の内圧Pは、常圧 P_0 以下(真空)に維持されている。図7Bのグラフにも、第7時刻 t_7 が存在しない。

[0046] 図7Bのグラフの右横のX線写真は、第2比較例において半田付けされた半導体素子12の裏面すなわち接合面を示す。このX線写真によれば、ボイドの発生量は、図7Aの第1比較例に比して少なくなっており、改善されている。しかし、依然として、すべての半田層Hにボイドが発生してしまっている。一部の半田層Hには、不濡れも発生してしまっている。

[0047] 図6Aの第1実験例及び図6Bの第2実験例は、図7Aの第1比較例及び図7Bの第2比較例と比較すると、ボイドの発生が抑制されて改善されていることが一目瞭然である。第1実験例及び第2実験例において、半田溶融域 $t_3 \sim t_7$ は、第3時刻 t_3 において半田が溶融開始してから、第7時刻 t_7 において半田が凝固するまでの期間を示す。半田溶融域 $t_3 \sim t_7$ に亘って、容器17の内圧Pが、常圧 P_0 を超えた設定圧力 P_1 に維持されよう、溶融半田は加圧され続ける。このように溶融半田を加圧することによって、ボイドの発生が抑制される。

[0048] 第1実験例及び第2実験例の半田溶融域 $t_3 \sim t_7$ に亘って、水素タンク23dからは、設定圧力 P_1 (0.13MPa)よりも高い圧力を有する還元性ガスが供給される。減圧弁23cは、容器17の内圧Pを一定値、つまり設定圧力 P_1 に保つ。ガス排出部26の絞り弁26cは、一定量のガスを容器17の外部に排出させる。還元性ガス供給部23は、ガス排出による容器17の内圧Pの減圧分を補うように、容器17に還元性ガスを供給する。その結果、容器17の内圧Pは一定値に保たれる。更に、容器17内でガスが流通させられる。半田溶融域 $t_3 \sim t_7$ における容器17の内圧Pは、半田加熱によって容器17内部が昇温することによる容器17の内圧Pの上昇分を加味して、一定値に保たれる。

[0049] 以下、これら実験結果を踏まえ、ボイドの発生要因について考察する。

溶融半田の表面張力は、半田の温度Tが上昇するほど低下する。半田の表面、および接合部材(半導体素子12と配線層15)の表面には酸化物が存在するため、これら表面の濡れ性は悪い。半田が濡れる界面において、半田、接合部材、雰囲気ガス(本実施形態において還元性ガス)といった3種類の物質が交差している。この3種類

の物質が交差する線である交差線上には、接合部材(固体)と雰囲気ガス(気体)の間に働く第1表面張力と、熔融半田(液体)と雰囲気ガス(気体)の間に働く第2表面張力と、接合部材(固体)と熔融半田(液体)の間に働く界面張力とが存在する。これら第1表面張力、第2表面張力、及び界面張力の各々は、前記交差線からそれぞれ対応する界面方向に向かって働く。

- [0050] 半田が熔融直後において、熔融半田と雰囲気ガスとの間の第2表面張力は大きく、熔融半田と接合部材との間の界面張力は負の値を有することが多い。この場合、半田は拡がり難い。寧ろ、半田は、半田と接合部材との間の接合面積を縮小するために球になろうとする傾向を有する。この傾向を抑えるには、本実施形態のような錘35によって半田を加圧した状態において、半田付けすることが有効である。例えば柔軟なボールを上下一対の板の間に挟んだ状態において、上板に錘を載せればボールが潰れることから、上記理論は理解し易い。しかし、雰囲気の圧力のみによって、熔融半田の球形化傾向を防止することは難しい。例えば水で満たしたボールの雰囲気ガスの圧力を上昇させても、ボールは球形から変形し難いが、ボールに錘を載せれば容易にボールが潰れることから、上記理論は理解し易い。
- [0051] 本明細書の背景技術にも記載のように、従来のボイド発生対策は、容器17の内圧Pを常圧 P_0 以下(真空)にした状態において、半田を加熱していた。これは、ボイドの発生原因を、雰囲気ガス、あるいは残留ガスや半田などから発生するガスであると考えたことによる。つまり、ガス抜きした真空状態において、ボイドの発生が抑えられるという考えであった。
- [0052] しかし、図7Aに示すように、本発明者は、常圧 P_0 以下(真空)において半田付けをしても、半田にボイドが発生することを実験で確認した。一辺が約10mmのパワーランジスタなどの半導体素子を、半田シートによって回路基板に接合する場合、半田にボイドが点在した。多くのボイドが、100~200 μ mの厚みの半田を貫通する円筒型であった。つまり、本発明者は、ボイドが接合部の両面に繋がっていたことを確認した。加熱前に半導体素子と回路基板との間に存在していた半田が、加熱によってボイド部分で消滅しているのは、ボイド部分に存在した半田が、何らかの力でボイド周辺部に押し退けられたことを意味している。

- [0053] これらの結果から、本発明者は、ボイドの中身が低圧状態(真空度の高い状態)であり、ボイドを発生させる力は表面張力であると考えた。表面張力は、換言すれば、液体の表面積を最小にしようとする力である。本発明者は、直径1mmの不濡れ部分が、接合せずに密着に近い球の状態が存在する場合、すなわち球表面積が $0.025 \times \pi \text{ mm}^2$ の場合よりも、直径1mm、高さ $100 \mu\text{ m}$ で表面積が $1 \times \pi \times 0.1 \text{ mm}^2$ の円筒の方が安定していることを発見した。このため、ボイドの中身が真空度の高い状態であれば、熔融半田の表面張力に打ち勝つ圧力を当該熔融半田に付与すれば、ボイドは消滅すると考えられる。この理論に基づき、図6Aおよび図6Bに示すように加圧状態で半田付けを行ったところ、ボイドを計測できない状態、すなわちボイドゼロ状態を実現できた。
- [0054] ボイドの状態は、ガスの有無によっては決まらず、表面張力によって決まるとすれば、半田の材質、半導体素子12や配線層15の表面状態、温度T、半田の厚さなどの要因がボイドの状態を支配する筈である。厚さ $100 \mu\text{ m}$ の半田シート33と、厚さ $150 \mu\text{ m}$ の半田シート33とを用いて、両者同一条件で半田付けを実験したところ、厚さ $150 \mu\text{ m}$ の半田シート33の方が良い結果を得られた。
- [0055] 例えば2枚の板を、両者間に隙間を空けた状態にして液体に漬けると、2枚の板が良く濡れれば前記隙間に沿って液面が上昇する。隙間が小さいほど液面は上昇する。濡れが悪くて、板が液体を弾けば、液面は低く押し込まれる。隙間が小さいと、液面は低い位置まで押し込まれるが、隙間が大きいと、液面はあまり押し込まれない。
- [0056] 厚み $100 \mu\text{ m}$ の半田シート33は、2枚の板である半導体素子12と配線層15との間の隙間が小さい場合に対応する。厚み $150 \mu\text{ m}$ の半田シート33は、2枚の板の間の隙間が大きい場合に対応する。このようなことから、厚み $100 \mu\text{ m}$ の半田シート33よりも、厚み $150 \mu\text{ m}$ の半田シート33の方が、圧力によってボイドを抑制し易いという考えが成り立つ。本発明者の考えによれば、ボイドの発生は、容器17の内圧Pを高めるほど抑制されると言える。
- [0057] 本実施形態は、以下の利点を有する。
- (1) 半田が熔融開始してから凝固するまでの半田熔融域 $t_3 \sim t_7$ において、常圧 P_0 以上の設定圧力 P_1 の雰囲気の中で、半田付けが行われる。このため、熔融半田に

は、当該半田の表面張力に打ち勝つ力が加えられる。よって、ボイド発生の要因と考えられる表面張力の影響が抑えられ、ボイドの発生を抑制できる。

[0058] (2) 容器17の内圧Pを一定値に保つべく、還元性ガス供給部23は減圧弁23cを有する。このため、半田熔融域 $t_3 \sim t_7$ において、安定した加圧状態が容器17内に実現され、確実にボイドの発生を抑制できる。特に、熔融半田を凝固させる場合、容器17内の温度Tが低下することに伴い、容器17の内圧Pが低下する。減圧弁23cから容器17に還元性ガスを供給することによって、容器17の内圧Pを常圧 P_0 以上に保つことができる。

[0059] (3) ガス排出部26の絞り弁26cは、容器17内のガスを外部に排出する。これにより、還元性ガスが容器17の内外で流通させられる。その結果、還元作用によって生じる容器17内の水分は、ガスの排出によって除去される。

[0060] (4) 図6Bに示すように、第2実験例において、半田加熱の終了時に、容器17の内圧Pを設定圧力 P_1 から更に上昇させた。よって、熔融半田にボイドが発生したとしても、熔融半田の凝固時までには、ボイドを消滅させることができる。したがって、ボイドの発生を抑制し易い。

[0061] (5) 錘35から離間させた高周波加熱コイル28によって、錘35を発熱させた。このため、一斉に複数の半導体素子12を回路基板11に半田付けする場合、錘35毎に高周波加熱コイル28を設けなくても良い。つまり、錘35よりも少ない数の高周波加熱コイル28が、回路基板11上のより多くの接合部位を一斉に加熱することができる。

[0062] また、高周波加熱コイル28は錘35から離間しているため、熔融半田の冷却時、高周波加熱コイル28を、錘35及び回路基板11とは別に取り扱うことが可能である。よって、例えば容器17内に複数の半導体モジュール100を配置している場合に、高周波加熱コイル28を、或る半導体モジュール100から別の半導体モジュール100に移動させることによって、高周波加熱コイル28の稼働効率を向上させることができる。

[0063] また、本実施形態は、半導体素子12を押圧する錘35を発熱させることによって回路基板11の接合部位を加熱する。このため、当該接合部位に集中的に熱を伝えることができる。よって、例えば回路基板11全体や容器17全体を加熱する場合に比べて、加熱効率を向上できる。

- [0064] (6) 1つの高周波加熱コイル28は、1つの回路基板11上の複数の錘35の上方に配置された。このため、1つの回路基板11における複数の接合部位に、平面的に熱を伝えることができる。よって、複数の接合部位を均等に加熱することができる。この結果、各接合部位に配置した半田シート33の溶融開始タイミングを、ほぼ同時になるように近似させることが出来る。また、すべての半田シート33が溶融完了するタイミングを、ほぼ同時になるように近似させることができる。よって、半田付け作業を効率化できる。
- [0065] (7) 高周波加熱コイル28は、容器17の外部に配置された。このため、高周波加熱コイル28は、半田付け作業において、加熱時間以外は拘束されない。つまり、高周波加熱コイル28は、加熱時間以外は、容器17から引き離すことが出来る。したがって、1つの高周波加熱コイル28を、次々に新しい容器17に移動させることにより、半導体モジュール100の生産効率を向上させることができる。
- [0066] また、例えば容器17内に加熱部材つまり高周波加熱コイル28を配置する場合に比べて、高周波加熱コイル28が容器17の外に配置された本実施形態の容器17の容積は、小さくて済む。したがって、容器17の小型化を図ることができる。
- [0067] 雰囲気調整は、主に、容器17からの空気を排出すること即ち真空引きと、窒素ガスなどの不活性ガスや、水素ガスなどの還元性ガスを供給したり排出したりすることを含む。このため、容器17の容積を少なくすることにより、空気の排出に掛かる時間やエネルギー消費量を少なくすることが出来る。例えば、真空ポンプ25cの動作エネルギーを少なくすることができる。また、容器17への不活性ガスや還元性ガスの供給又は排出に掛かる時間やエネルギー消費量を少なくすることができる。不活性ガスや還元性ガスの消費量を少なくすることもできる。
- [0068] (8) 高周波加熱コイル28に対向する容器17の部位である蓋19を、電氣的絶縁材であるガラス板22によって形成した。このため、容器17自体が発熱することを回避できる。まあ、容器17を磁束が通過することによって、錘35を発熱させることができる。
- [0069] (9) 錘35の1つの押圧面35aは、複数の半導体素子12の非接合面12aに接触可能である。すなわち、1つの錘35は、半導体素子12の1個分を押圧するための子錘を複数個集めた集合体である。このため、一つの錘35の押圧面35aを大きくすること

が可能である。よって、押圧面35aが小さい場合に比較して、錘35は、各半導体素子12を安定して押圧する。従って、各半導体素子12は、熔融半田の表面張力による影響を受け難く、安定して半田付け作業が行われる。

[0070] (10)1つの回路基板11に、1つの高周波加熱コイル28が割り当てられた。このため、例えば複数の回路基板11に1つの高周波加熱コイル28が割り当てられる場合に比較して、錘35の発熱効率が良い。

[0071] 上記実施形態は以下のように変更しても良い。

図8に示すように、半田熔融域 $t_3 \sim t_7$ において、容器17の内圧 P を漸増させても良い。すなわち、第2時刻 t_2 における設定圧力 P_1 から、第7時刻 t_7 における第2設定圧力 P_2 に向かって、容器17の内圧 P は漸増される。すなわち、半田熔融域 $t_3 \sim t_7$ における容器17の内圧 P は、一定値である設定圧力 P_1 または第2設定圧力 P_2 に保たれることに限らない。

[0072] 設定圧力 P_1 は、0.13MPaよりも高く設定しても良い。第2設定圧力 P_2 は、0.2MPaから変更しても良い。設定圧力 P_1 および第2設定圧力 P_2 は、容器17の耐久性も加味して設定される。

[0073] 設定圧力 P_1 は、0.13MPaに限らない。配線層15や半導体素子12の材質や表面処理の状況に応じて、設定圧力 P_1 を0.11MPa以上かつ0.13MPa以下の範囲にしても良い。容器17の内圧 P は、容器17外の常圧 P_o に近い方が、容器17の耐久性の点で有利である。また、設定圧力 P_1 は、熔融半田の濡れ性や表面張力に応じて変更可能である。従来、半田付けに用いられるリフロー炉には、当該リフロー炉への大気侵入を防止するために、不活性ガスが供給されていた。しかし、当該不活性ガスの供給は、リフロー炉の内圧を常圧程度にするに過ぎない。

[0074] 容器17の内圧 P を監視して得た圧力値に基づき、設定圧力 P_1 よりも高い圧力の還元性ガスを容器17に導入することによって、半田熔融域 $t_3 \sim t_7$ における容器17の内圧 P を、一定値である設定圧力 P_1 に保っても良い。または、還元性ガスの供給によって、容器17の内圧 P を漸増させても良い。

[0075] 上記実施形態において、還元性ガス供給部23に絞り弁を接続しても良い。当該絞り弁によって、容器17に還元性ガスを供給することにより、容器17の内圧 P を漸増さ

せても良い。

[0076] 上記実施形態において、半田加熱時や冷却時の容器17のガス雰囲気は、水素ガス100%の還元性雰囲気であった。これを変更し、例えば水素ガスすなわち還元性ガスを3%にして、残りは窒素ガスすなわち不活性ガスである混合ガス雰囲気としても良い。

[0077] 還元性ガスは、水素ガスに限らず、例えばホルムアルデヒドを含むような組成のガスであっても良い。

半田の加熱方式は、高周波加熱コイル28による高周波誘導加熱に限らず、例えば容器17内に発熱装置を設けても良い。また、ヒートシンク13に熱媒体を流通させても良い。ヒートシンク13が半田シート33に熱を伝えることによって、半田を加熱しても良い。

[0078] 半田付け装置HKに、容器17の内部雰囲気を調整する雰囲気調整装置を設けても良い。雰囲気調整装置は、各開閉バルブ23b, 24b, 25b, 26bや真空ポンプ25cにそれぞれ接続される。雰囲気調整装置は、還元性ガス供給部23、不活性ガス供給部24、真空部25及びガス排出部26を制御する。その結果、容器17への還元性ガスや不活性ガスの供給と、容器17からのガスや空気の排出とが行われる。

[0079] 半導体素子12が半田付けされる接合物93は、ヒートシンク13が接合されていない回路基板11でも良い。この場合、容器17において、回路基板11と半導体素子12とを含む半導体装置が製造される。半導体モジュール100が有する回路基板11の数は、6個に限らず、変更可能である。

[0080] 蓋19は、箱本体18に取り外し可能に取り付けても良いし、開閉式でも良い。

蓋19における高周波加熱コイル28に対向する部位を、ガラス以外の電氣的絶縁材、例えばセラミックスや樹脂で形成しても良い。蓋19が容器17の内外の気圧差に耐えるように強度を確保する場合は、蓋19を、例えばグラスファイバーと樹脂との複合材、すなわちGFRP(ガラス繊維強化プラスチック)で構成すると良い。また、蓋19を、非磁性材の金属で形成しても良い。蓋19を、磁性材性の金属で形成する場合は、錘35よりも電気抵抗率が高い材料が良い。蓋19を、金属と絶縁材の複合材で構成しても良い。錘35に効果的に磁束を導くように、錘35の直上部に、強磁性体の電磁

鋼板を配置すると良い。

[0081] 錘35は、材料の削り出しによる一体化部品に限らない。錘35は、複数の分割体を接合することによって形成した一つの集合体であっても良い。

錘35に替えて、半導体素子12の1個分に対応する子錘を、複数用いても良い。具体的には、1つの回路基板11に接合される4つの半導体素子12に対応して、4つの子錘を用意する。子錘の各々は、対応する半導体素子12の直上に配置される。

[0082] 半田シート33の成分は、上記実施形態に限定されない。ボイドの発生を抑制するためには、熔融半田つまり溶けている半田を加圧すれば良く、半田シート33の成分は限定されない。

[0083] 上記実施形態において、容器17のガスの入口に接続される還元性ガス供給部23は、減圧弁23cを有していた。容器17の出口に接続されるガス排出部26は、絞り弁26cを有していた。しかし、減圧弁および絞り弁の配置態様を変更しても良い。例えば、還元性ガス供給部23が減圧弁23cと絞り弁を有し、且つ、ガス排出部26も減圧弁と絞り弁26cを有しても良い。上記実施形態とは逆に、還元性ガス供給部23が絞り弁のみを有し、ガス排出部26が減圧弁のみを有しても良い。還元性ガス供給部23のみが、減圧弁と絞り弁の一方を有しても良い。

[0084] この場合、減圧弁は、容器17の内圧Pを一定に保つことを可能にする。減圧弁23cを設けずに絞り弁26cを設けた場合、容器17に供給するガスの流量を、容器17から排出するガスの流量よりも多く設定すれば、容器17の内圧Pを漸増させることが可能である。容器17の入口に接続される圧力調整部は、第1圧力調整部として機能する。容器17の出口に接続される圧力調整部は、第2圧力調整部として機能する。

請求の範囲

- [1] 回路基板(11)に半導体素子(12)を半田付けする半田付け方法であって、該半田付け方法は、
- 容器(17)に半田付け対象物(92)を収容することであって、該半田付け対象物(92)は、前記回路基板(11)と、前記半導体素子(12)と、前記回路基板(11)と前記半導体素子(12)との間に配置された半田(33)とを含み、前記半田(33)は熔融温度(T_m)を有することと、
- 少なくとも還元性ガスを含む雰囲気ガスによって前記容器(17)を満たした還元状態を実現することと(t_1)、
- 前記還元状態の前記容器(17)において、前記半田(33)の温度(T)を前記熔融温度(T_m)以上に上昇させるように前記半田(33)を加熱することによって、前記半田(33)を熔融させることと($t_3 \sim t_5$)、
- 熔融半田(33)の温度(T)を前記熔融温度(T_m)未満に下げることによって前記半田(33)を凝固させることによって、前記回路基板(11)に前記半導体素子(12)を半田付けすることと($t_6 \sim t_7$)
- を備える半田付け方法であって、
- 前記容器(17)を密閉可能に構成することと、
- 上昇中の前記半田(33)の温度(T)が前記熔融温度(T_m)に達するまでに(t_3)、前記雰囲気ガスによって前記容器(17)の内圧(P)を常圧(P_0)以上の熔融開始時圧力(P_1)まで上昇させることであって(t_1)、前記熔融開始時圧力(P_1)は、前記半田(33)が熔融開始する際の前記容器(17)の内圧(P)であることと、
- 半田熔融域($t_3 \sim t_7$)において、前記容器(17)の内圧(P)を前記熔融開始時圧力(P_1)以上に設定した加圧状態を実現することであって、半田熔融域($t_3 \sim t_7$)は、前記半田(33)が熔融開始してから(t_3)、当該熔融半田(33)が凝固するまで(t_7)の期間であることと、
- 前記加圧状態において前記半導体素子(12)を前記回路基板(11)に半田付けすることと
- を含むことを特徴とする半田付け方法。

- [2] 請求項1に記載の半田付け方法において、
前記溶融開始時圧力(P1)は0.11MPa以上である半田付け方法。
- [3] 請求項1に記載の半田付け方法において、
前記溶融開始時圧力(P1)は0.13MPa以上である半田付け方法。
- [4] 請求項1に記載の半田付け方法において、
前記溶融開始時圧力(P1)は0.11MPa～0.13MPaの範囲内にある半田付け方法。
- [5] 請求項1～4のうち何れか一項に記載の半田付け方法は更に、
前記半田溶融域(t3～t7)において、前記溶融開始時圧力(P1)よりも高い圧力を有する前記雰囲気ガスを、第1圧力調整部(23c)によって一定値にすることと、
一定値にした前記雰囲気ガスを前記容器(17)に導入することにより、前記容器(17)の内圧(P)を一定に保つ、又は漸増させることと
を含む半田付け方法。
- [6] 請求項1～4のうち何れか一項に記載の半田付け方法は更に、
前記半田溶融域(t3～t7)において、前記容器(17)の内圧(P)を監視することと、
当該監視によって得られた圧力値に基づき、前記溶融開始時圧力(P1)よりも高い圧力を有する前記雰囲気ガスを前記容器(17)に導入することにより、前記容器(17)の内圧(P)を一定に保つ、又は漸増させることと
を含む半田付け方法。
- [7] 請求項5又は6に記載の半田付け方法は更に、
前記容器(17)に導入した前記雰囲気ガスを、第2圧力調整部(26c)によって前記容器(17)の外部に排出することにより、前記半田溶融域(t3～t7)における前記容器(17)の内部において前記雰囲気ガスを流通させることを含む半田付け方法。
- [8] 請求項1～7のうち何れか一項に記載の半田付け方法は更に、
前記半導体素子(12)を前記回路基板(11)に向けて押圧する押圧体(35)を、前記半導体素子(12)の直上に配置することを含む半田付け方法。
- [9] 請求項1～8のうち何れか一項に記載の半田付け方法は更に、
前記半田溶融域(t3～t7)において、前記半田(33)の加熱終了時(t5)から当該

半田(33)が凝固するまで(t7)における前記容器(17)の内圧(P2)を、前記半田(33)の加熱終了時の圧力(P1)よりも高く設定することを含む半田付け方法。

[10] 半導体装置(100)の製造方法であって、該半導体装置(100)は、回路基板(11)と、該回路基板(11)に半田付けされた半導体素子(12)とを含み、該半導体装置(100)の製造方法は、

密閉可能な容器(17)を準備することと、

前記容器(17)に半田付け対象物(92)を収容することであって、該半田付け対象物(92)は、前記回路基板(11)と、前記半導体素子(12)と、前記回路基板(11)と前記半導体素子(12)との間に配置された半田(33)とを含み、前記半田(33)は熔融温度(T_m)を有することと、

少なくとも還元性ガスを含む雰囲気ガスによって前記容器(17)を満たした還元状態を実現することと(t1)、

前記還元状態の前記容器(17)において、前記半田(33)の温度(T)を前記熔融温度(T_m)以上に上昇させるように前記半田(33)を加熱することによって、前記半田(33)を熔融させることと(t3~t5)、

熔融半田(33)の温度(T)を前記熔融温度(T_m)未満に下げることによって前記半田(33)を凝固させることによって、前記回路基板(11)に前記半導体素子(12)を半田付けすることと(t6~t7)

を備える半田付け方法であって、

上昇中の前記半田(33)の温度(T)が前記熔融温度(T_m)に達するまでに(t3)、前記雰囲気ガスによって前記容器(17)の内圧(P)を常圧(P_o)以上の熔融開始時圧力(P1)まで上昇させることであって(t1)、前記熔融開始時圧力(P1)は、前記半田(33)が熔融開始する際の前記容器(17)の内圧(P)であることと、

半田熔融域(t3~t7)において、前記容器(17)の内圧(P)を前記熔融開始時圧力(P1)以上に設定した加圧状態を実現することであって、前記半田熔融域(t3~t7)は、前記半田(33)が熔融開始してから(t3)、当該熔融半田(33)が凝固するまで(t7)の期間であることと、

前記加圧状態において前記半導体素子(12)を前記回路基板(11)に半田付けす

ることと

を含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

[11] 回路基板(11)に半導体素子(12)を半田付けするための半田付け装置(HK)であって、該半田付け装置(HK)は、

密閉可能な容器(17)と、

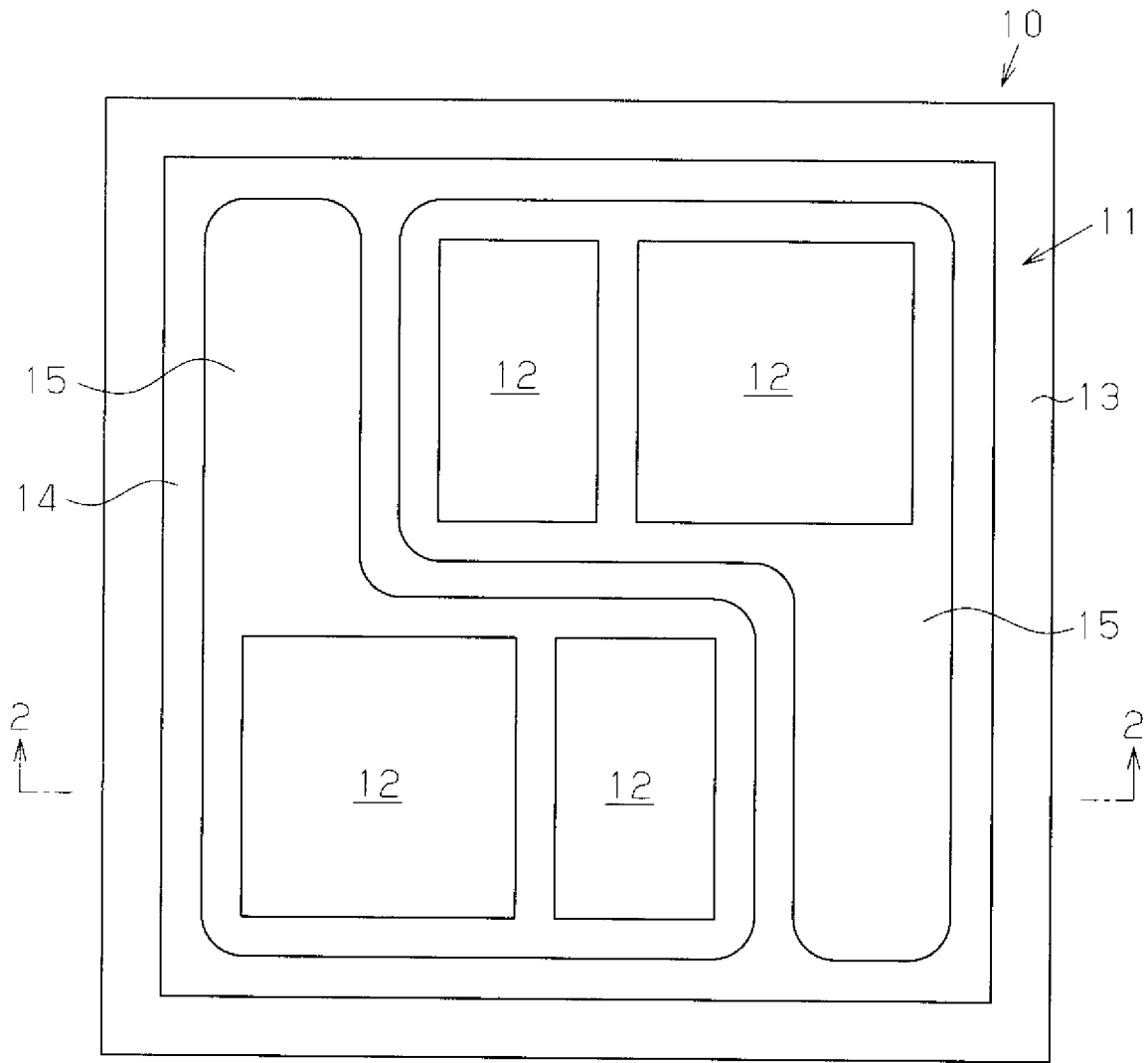
前記回路基板(11)と前記半導体素子(12)との間に配置される半田(33)を加熱することによって、該半田(33)を溶融させる加熱装置(28)であって、前記回路基板(11)、前記半導体素子(12)、及び前記半田(33)は半田付け対象物(92)を構成し、前記半田(33)は溶融温度(T_m)を有することと、

前記容器(17)に、少なくとも還元性ガスを含む雰囲気ガスを導入するガス導入部(23)であって、該ガス導入部(23)は、前記半田付け対象物(92)を収容した状態の前記容器(17)に前記雰囲気ガスを導入し、前記加熱装置(28)は、前記雰囲気ガスが導入された状態の前記半田(33)の温度(T)を前記溶融温度(T_m)以上に上昇させることによって、前記半田(33)を溶融させ、前記ガス導入部(23)は、上昇する前記半田(33)の温度(T)が前記溶融温度(T_m)に達するまでに、前記雰囲気ガスによって前記容器(17)の内圧(P)を前記常圧(P_o)以上の溶融開始時圧力(P_1)まで上昇させることと

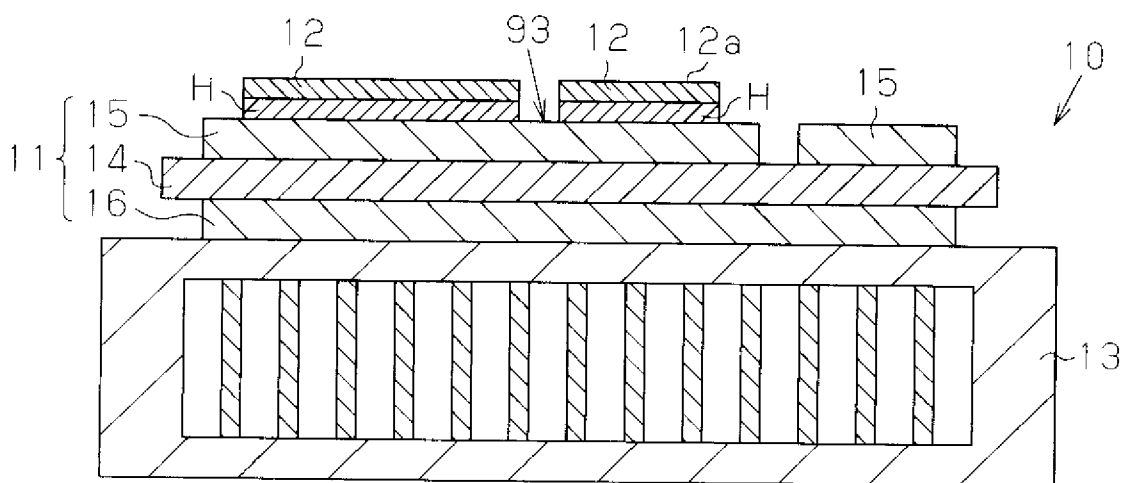
を含み、

前記半田付け装置(HK)は、前記半田(33)の溶融開始から当該溶融半田(33)が凝固するまでの半田溶融域($t_3 \sim t_7$)において、前記容器(17)の内圧(P)を前記溶融開始時圧力(P_1)以上の圧力にした加圧状態を実現し、該加圧状態において前記半導体素子(12)を前記回路基板(11)に半田付けするように構成されていることを特徴とする半田付け装置(HK)。

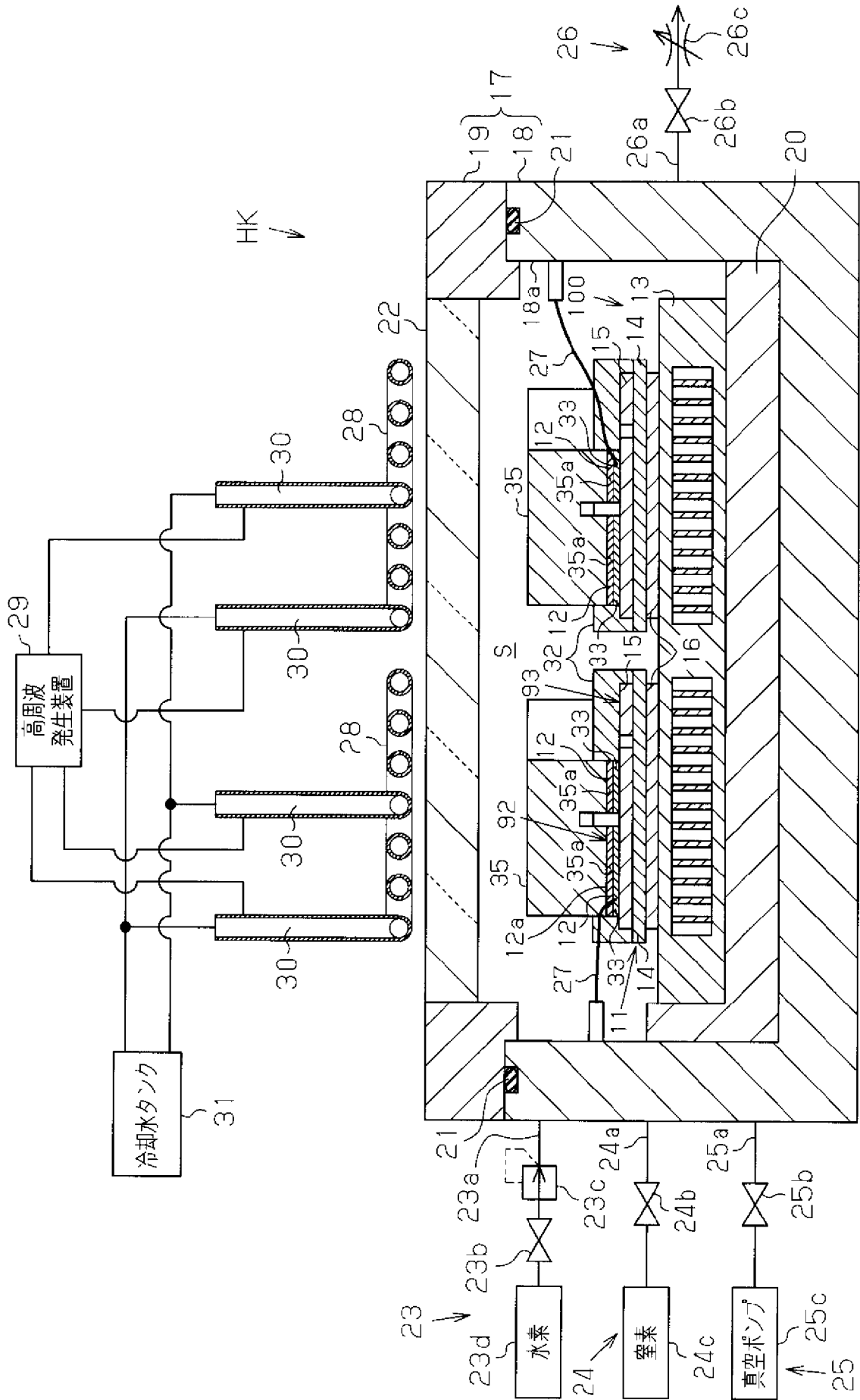
[図1]



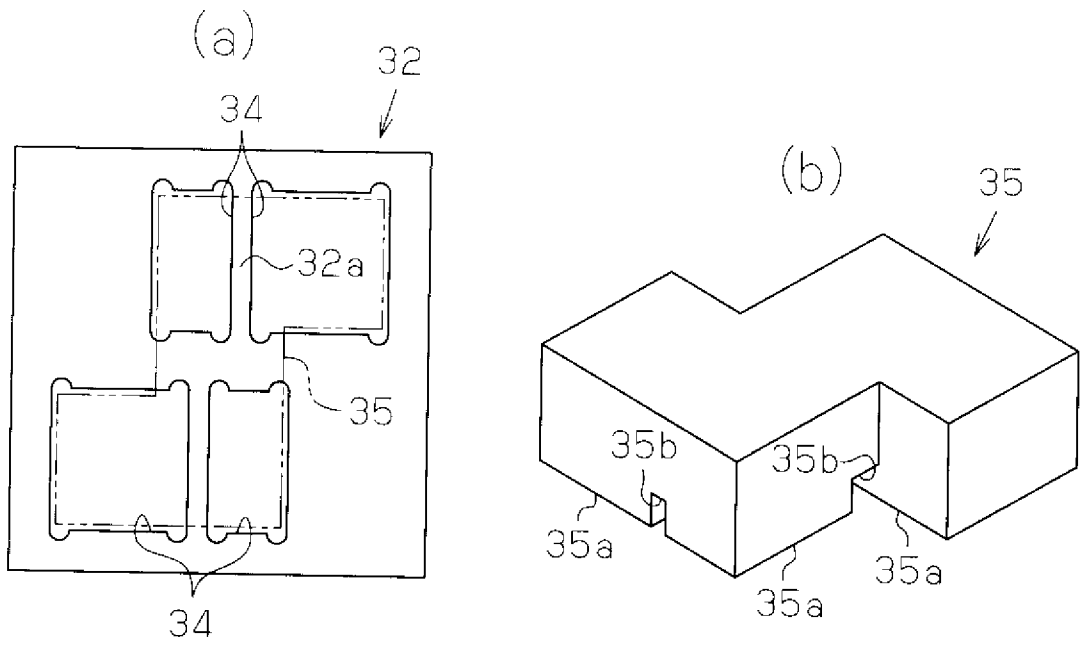
[図2]



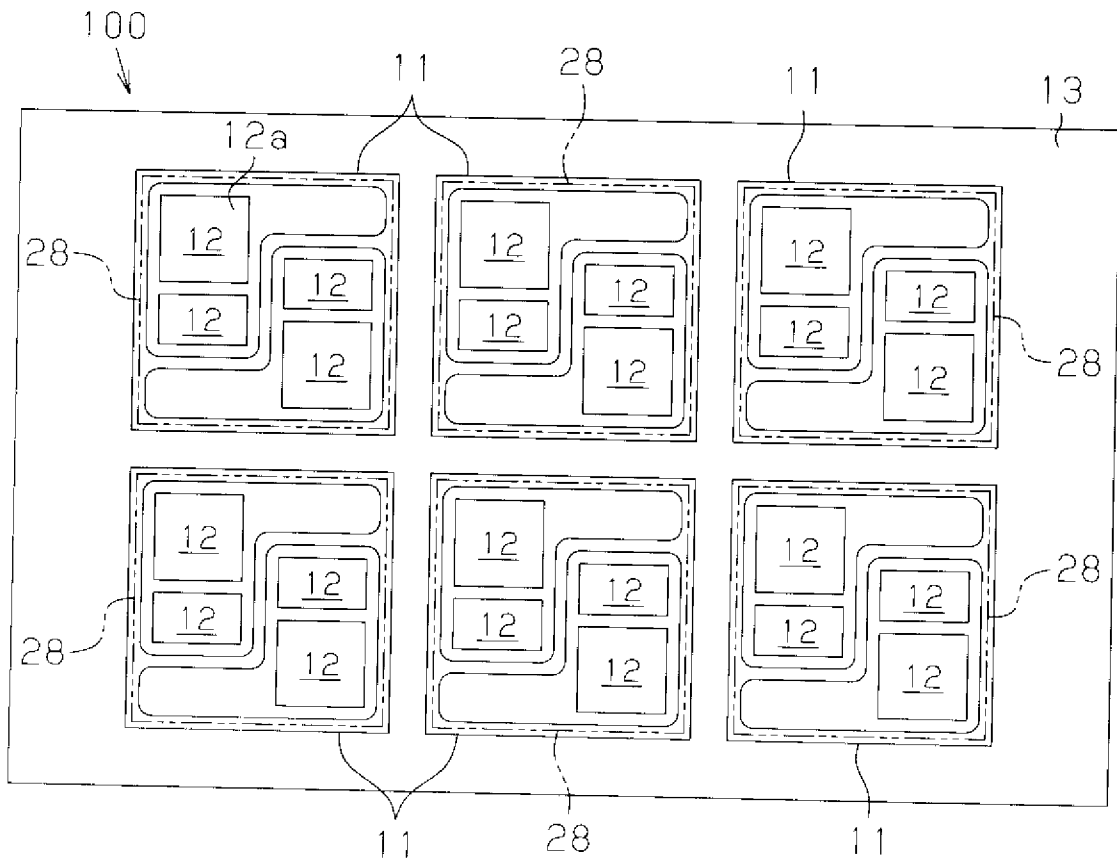
[図3]



[図4]

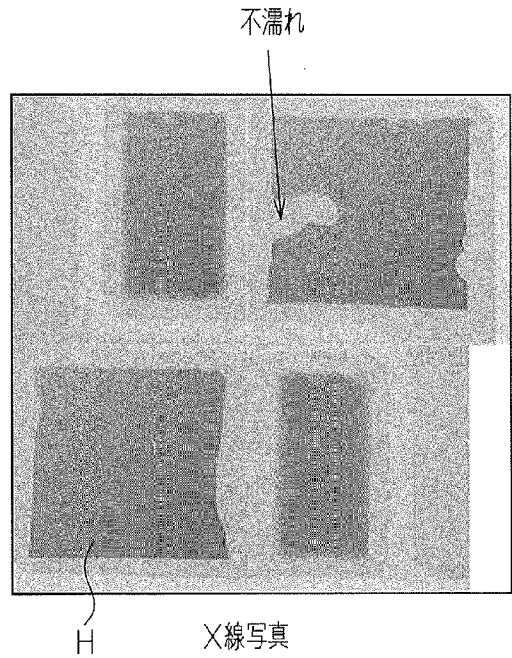
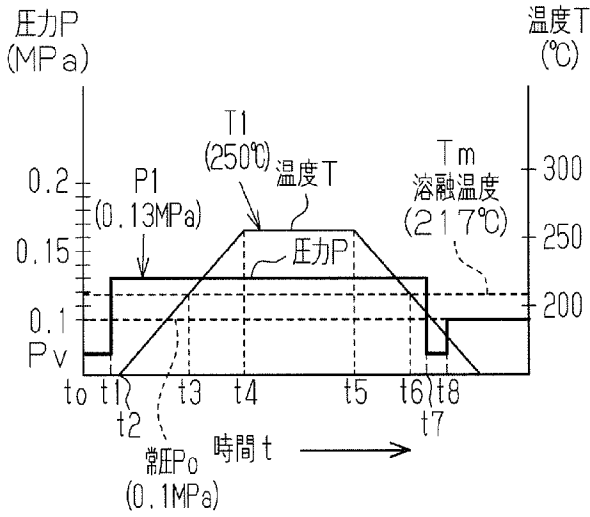


[図5]



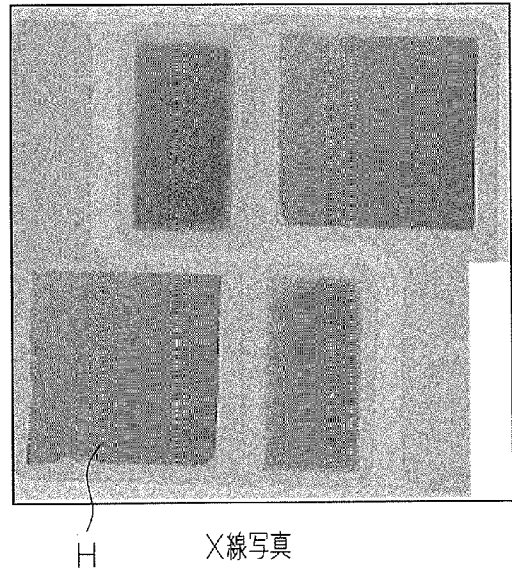
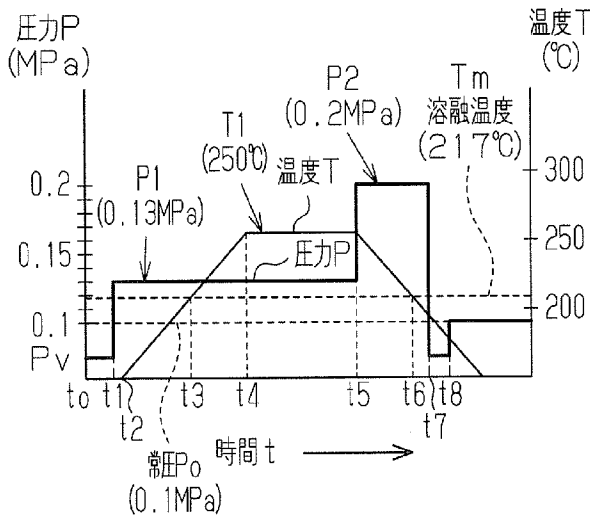
[図6A]

<第1実験例>



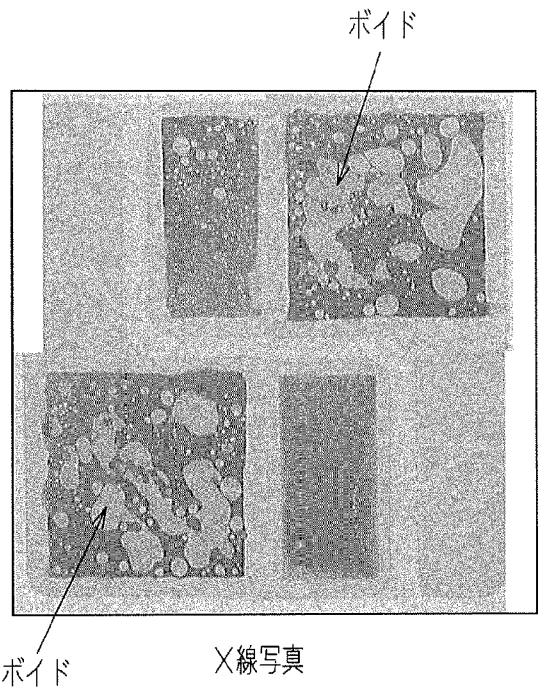
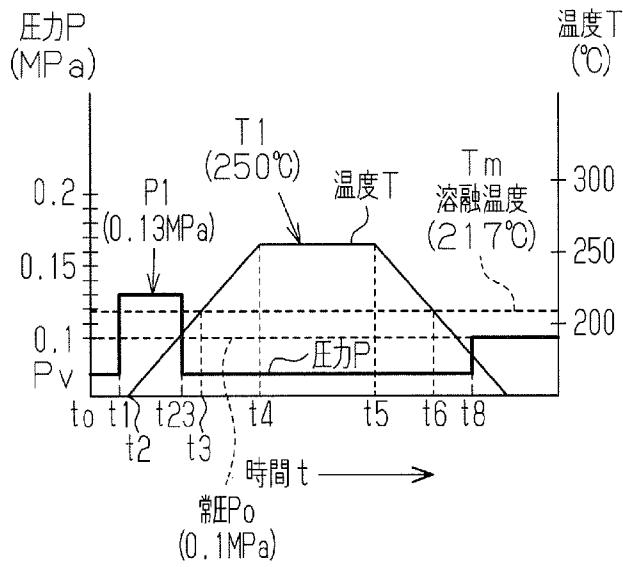
[図6B]

<第2実験例>



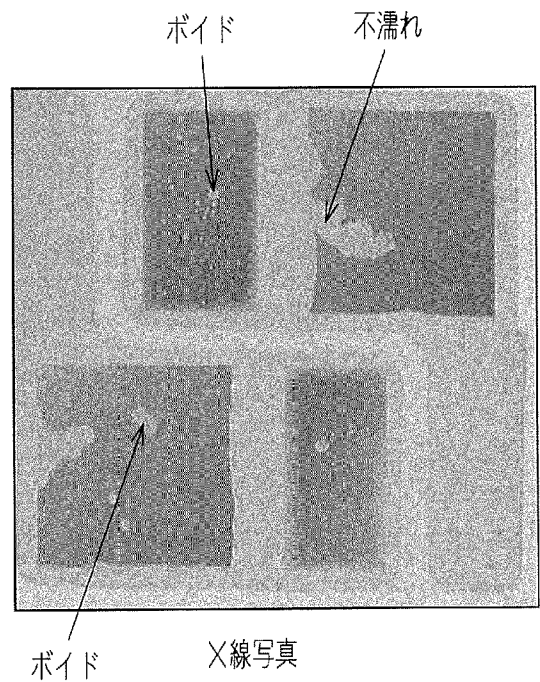
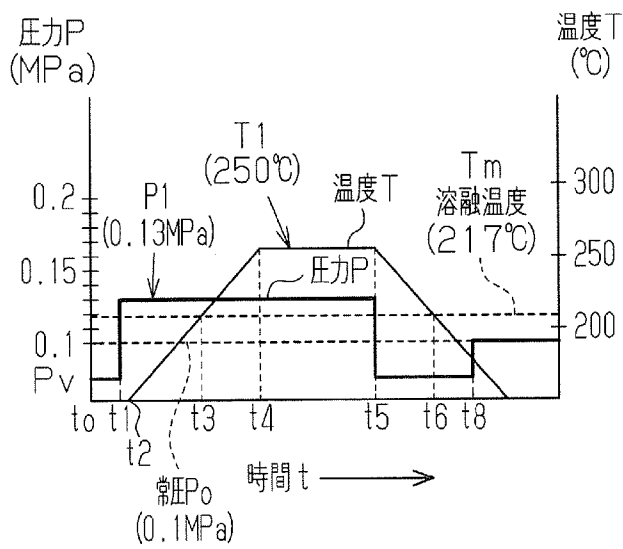
[図7A]

<第1比較例>

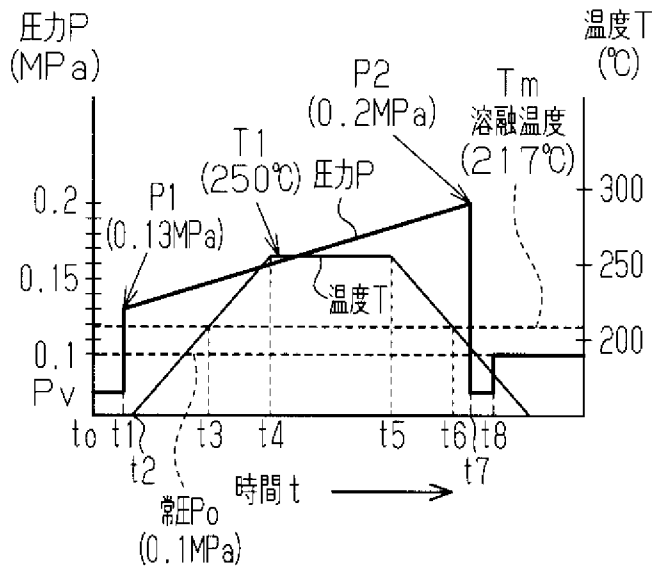


[図7B]

<第2比較例>



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/326074

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L21/52(2006.01)i, B23K1/008(2006.01)i, B23K31/02(2006.01)i, H01L21/58(2006.01)i, H05K3/34(2006.01)i														
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC														
B. FIELDS SEARCHED														
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L21/52, B23K1/008, B23K31/02, H01L21/58, H05K3/34														
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched														
<table border="0"> <tr> <td>Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1922-1996</td> <td>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</td> <td>1996-2007</td> </tr> <tr> <td>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1971-2007</td> <td>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1994-2007</td> </tr> </table>			Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2007	Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007				
Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2007											
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007											
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)														
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT														
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
X Y A	JP 6-226437 A (Taiho Kogyo Co., Ltd.), 16 August, 1994 (16.08.94), Par. Nos. [0017] to [0024]; Figs. 1 to 2 (Family: none)	1, 10-11 5-8 2-4, 9												
Y A	JP 9-314322 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 09 December, 1997 (09.12.97), Par. Nos. [0017] to [0019]; Fig. 1 (Family: none)	5-7 1-6, 8-11												
Y	JP 6-163612 A (Mitsubishi Electric Corp.), 10 June, 1994 (10.06.94), Par. Nos. [0021] to [0024]; Fig. 1 (Family: none)	8												
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.														
<table border="0"> <tr> <td>* Special categories of cited documents:</td> <td>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</td> </tr> <tr> <td>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</td> </tr> <tr> <td>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</td> <td>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</td> </tr> <tr> <td>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</td> <td>"&" document member of the same patent family</td> </tr> <tr> <td>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td></td> </tr> </table>			* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art	"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family	"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention													
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone													
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art													
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family													
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means														
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed														
Date of the actual completion of the international search 02 April, 2007 (02.04.07)	Date of mailing of the international search report 10 April, 2007 (10.04.07)													
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer													
Facsimile No.	Telephone No.													

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/326074

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-205418 A (Denso Corp.), 04 August, 2005 (04.08.05), Full text & US 2005/0156324 A1 & DE 102005001713 A1	1-4, 9-10
A	JP 2003-297860 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 17 October, 2003 (17.10.03), Full text & US 2003/0222126 A1 & EP 1350588 A2	1-4, 9-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. H01L21/52(2006.01)i, B23K1/008(2006.01)i, B23K31/02(2006.01)i, H01L21/58(2006.01)i, H05K3/34(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. H01L21/52, B23K1/008, B23K31/02, H01L21/58, H05K3/34		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2007年 日本国実用新案登録公報 1996-2007年 日本国登録実用新案公報 1994-2007年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	JP 6-226437 A（大豊工業株式会社）1994.08.16, 段落 0017-0024、図 1-2（ファミリーなし）	1, 10-11 5-8 2-4, 9
Y A	JP 9-314322 A（富士電機株式会社）1997.12.09, 段落 0017-0019、図 1（ファミリーなし）	5-7 1-6, 8-11
Y	JP 6-163612 A（三菱電機株式会社）1994.06.10, 段落 0021-0024、図 1（ファミリーなし）	8
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 02.04.2007	国際調査報告の発送日 10.04.2007	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 石野 忠志 電話番号 03-3581-1101 内線 3471	4R 3547

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2005-205418 A (株式会社デンソー) 2005.08.04, 全文 & US 2005/0156324 A1 & DE 102005001713 A1	1-4, 9-10
A	JP 2003-297860 A (富士電機株式会社) 2003.10.17, 全文 & US 2003/0222126 A1 & EP 1350588 A2	1-4, 9-10